

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури, будівництва ДонНАБА

Кафедра геодезії та землеустрою

Лабій Олександр
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 528.48
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА
« Використання референтних GNSS станцій та геодезичної
опорної мережі при моніторингу деформацій »
(назва роботи)

193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва спеціальності)

О. Лабій, студент групи ГЗ-21-1

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник: к.т.н. доцент Володимир Романюк
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри проф. Микола ПРИХОДЬКО
(посада) (підпис) (дата) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут архітектури, будівництва ДонНАБА

Кафедра геодезії та землеустрою

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри геодезії та землеустрою

проф. Микола ПРИХОДЬКО

" ____ " _____ р.

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Лабій Олександр

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Використання референтних GNSS станцій та геодезичної опорної мережі при моніторингу деформацій»

керівник роботи: к.т.н. доцент Володимир Романюк

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

затверджена наказом вищого навчального закладу від _____

2. Строк подання студентом роботи _____ року

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Методи дослідження
2. Польові спостереження
3. Результати дослідження

5. Перелік графічного матеріалу:

6. Дата видачі завдання: _____

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Методи дослідження		
2	Польові спостереження		
3	Результати дослідження		
4	Оформлення бакалаврської роботи		

Студент

_____ ***Лабій О.***
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ ***Романюк В.***

Анотація

Метою даної бакалаврської роботи є дослідження просторових та часових змін у зоні потенційних зсувів за допомогою поєднання традиційних геодезичних методів, GNSS-моніторингу, лазерного сканування та фотограмметрії з БПЛА, з особливою увагою до стабільності геодезичної контрольної мережі.

Актуальність теми:

Моніторинг деформацій поверхні є критично важливим завданням у районах, схильних до геодинамічних процесів, таких як зсуви.

З огляду на кліматичні зміни, активізацію техногенних факторів і зростання ризиків для інфраструктури, підвищення точності та ефективності методів спостереження за деформаціями набуває особливої актуальності.

Наукова новизна:

У роботі здійснено аналіз впливу стабільності GNSS-контрольних станцій на точність деформаційного моніторингу.

Розглянуто взаємодію між даними безперервного GNSS-спостереження та результатами, отриманими з лазерного сканування та БПЛА, у контексті повторних спостережень.

Це дозволяє уточнити стратегії моніторингу та підвищити достовірність інтерпретації деформаційних процесів.

Практична цінність:

Запропонована методика може бути впроваджена для моніторингу активних зсувних зон, стабільності гірських схилів, дамб, кар'єрів та інших об'єктів, що зазнають деформацій.

Надійна оцінка стабільності геодезичних контрольних точок підвищує ефективність інтерпретації змін у структурі земної поверхні та дозволяє вчасно виявляти потенційно небезпечні процеси.

Ключові слова:

моніторинг деформацій, GNSS, лазерне сканування, фотограмметрія, БПЛА, геодезичні контрольні точки, стабільність мережі, зсуви, повторні вимірювання, геодинаміка.

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is to study spatial and temporal changes in the area of potential landslides using a combination of traditional geodetic methods, GNSS monitoring, laser scanning and photogrammetry with UAVs, with special attention to the stability of the geodetic control network.

Topic relevance:

Surface deformation monitoring is a critically important task in areas prone to geodynamic processes, such as landslides.

Given climate change, the intensification of man-made factors and the growth of risks to infrastructure, increasing the accuracy and efficiency of deformation monitoring methods is of particular relevance.

Scientific novelty:

The work analyzes the impact of the stability of GNSS control stations on the accuracy of deformation monitoring.

The interaction between continuous GNSS observation data and the results obtained from laser scanning and UAVs in the context of repeated observations is considered.

This allows to refine monitoring strategies and increase the reliability of the interpretation of deformation processes.

Practical value:

The proposed methodology can be implemented for monitoring active landslide zones, stability of mountain slopes, dams, quarries and other objects undergoing deformations.

Reliable assessment of the stability of geodetic control points increases the efficiency of interpreting changes in the structure of the earth's surface and allows for timely detection of potentially dangerous processes.

Keywords:

deformation monitoring, GNSS, laser scanning, photogrammetry, UAV, geodetic control points, network stability, landslides, repeated measurements, geodynamics.

Зміст

Вступ

1. Геодезичний моніторинг зсувів

2. Перевірка стійкості контрольних точок

3. Аналіз зсувів позицій опорних станцій як контрольних точок

3.1 Стабільність станції

3.2 Аналіз швидкості руху, що спостерігаються на опорних станціях

3.3 Критерії відповідності зміни положення опорних станцій контрольним точкам

Висновок

Список використаних джерел

Вступ

Проблема зсувів і небезпек, які вони несуть, є глобальною проблемою, яка потребує комплексного вивчення.

У густонаселених районах ці геодинамічні події становлять серйозну загрозу як для безпеки людей, так і для інженерної та транспортної інфраструктури.

Крім того, зсуви сприяють деградації земельних ресурсів, перешкоджаючи їх майбутньому використанню як у будівництві, так і в сільському господарстві.

Тому дослідження цих процесів є критично важливими та потребують постійного моніторингу.

Зсуви зазвичай розвиваються на схилах з ухілами 15–20°.

Основною причиною їх утворення є втрата стійкості ґрунту або породи на схилі.

Основними факторами, що запускають ці процеси, є надмірне зволоження — зокрема весняне танення снігу або інтенсивні літні опади.

Одним з ефективних методів контролю зсувної активності є GNSS спостереження.

Використання референтних станцій глобальної навігаційної супутникової системи для відстеження просторових змін у положенні контрольних точок дозволяє порівнювати дані з іншими спостереженнями та дає можливість довгострокового аналізу процесів деформації.

Дослідження часових рядів показують, що точність отриманих даних порівнянна з результатами інших геодезичних методів.

Національні мережі GNSS забезпечують стабільні геопросторові дані для всіх регіонів країни, що дозволяє використовувати їх у різноманітних геодезичних дослідженнях.

Однак деякі наукові роботи вказують на те, що системи координат можуть змінюватися з часом через різні зовнішні фактори.

Найсуттєвіший вплив на стійкість геодезичних реперів має тектонічна активність Землі, яка може деформувати системи референцій.

Системи координат така як УСК2000 будується на основі супутникових вимірювань і забезпечують довготривалу стабільність геодезичних даних з урахуванням впливу геодинамічних процесів.

Одним із регіонів, де активно проявляються зсувні процеси, є територія Національного природного парку «Гуцульщина», що в Івано-Франківській області.

Зсуви тут поширені по всій території заповідника, насамперед вздовж структурно-тектонічних зон, що розділяють Покутські Карпати та Передкарпаття.

Особливо схильні до зсувної діяльності круті схили, складені глинистими породами карпатського флішу.

Переважно це ділянки схилів хребтів, прируслових схилів річкових долин, водозбірних лійок.

Тут найчастіше спостерігаються поступальні зсуви, коли значні обсяги ґрунту, гірських порід і рослинності зміщуються вниз по схилу.

Про їх активність свідчить, зокрема, накопичення сміття біля підніжжя схилів.

Щоб оцінити зсувний ризик, необхідно регулярно відстежувати зміни рельєфу.

Комплексний моніторинг території передбачає використання сучасних методів спостережень, зокрема геодезичних досліджень.

Цей моніторинг складається з кількох основних етапів:

1. Створення та визначення параметрів контрольної геодезичної мережі.
2. Спостереження для оцінки стабільності контрольних точок.
3. Натурні вимірювання різними геодезичними методами.

4. Аналіз результатів повторних циклів вимірювань.
5. Виявлення змін, що відбулися в процесі деформації схилу.
6. Оцінка величини та напрямку зсувних рухів.

Останній етап особливо важливий, оскільки результати порівняння між циклами вимірювань базуються на GNSS-спостереженнях контрольних точок, що забезпечує високу точність і стабільність вимірювань.

Моніторинг стабільності контрольних точок здійснюється на основі мережі перманентних GNSS станцій, зокрема SystemSolutions.

З огляду на це основною метою нашої бакалаврської роботи є дослідження впливу опорних станцій на довгострокову стабільність контрольної-геодезичної мережі.

1. Геодезичний моніторинг зсувів

Дослідження зсувних процесів на території Національного природного парку «Гуцульщина» в Івано-Франківській області із застосуванням сучасних геодезичних методів вимірювання спрямовано на комплексну кількісну оцінку руху гірських масивів, уламків та їх впливу на довкілля.

Використання GNSS-спостережень, лазерного сканування та аерофотозйомки сприяло не лише документуванню величини та напрямку руху зсувної маси, але й оцінці часової динаміки.

Отримані дані мають вирішальне значення для подальшого аналізу факторів, що сприяють активізації зсувів, та розробки стратегій пом'якшення їх впливу (рис. 1).[4]



Рисунок 1. Зсувні рухи в районі дослідження

Фактори, що сприяють зародженню, посиленню та поширенню зсувних процесів, можна розділити на кілька основних груп:

1. Геоморфологічні умови – охоплюють особливості рельєфу, зокрема значну крутість схилів (понад 15–20°), що сприяє втраті стійкості гірських порід.

2. Геологічні фактори. Вони включають наявність глинистих відкладень, чергування водопроникних і непроникних шарів, відкладення масивних і міцних порід поверх пластичних матеріалів, орієнтацію шарів по відношенню до схилу та існування поверхневих систем тріщин.

3. Гідрогеологічні фактори – До цієї категорії відносяться режим підземних вод, їх різкі коливання, спрямований стік у бік спуску схилу, а також підвищена водонасиченість гірських порід, що послаблює їх структурну цілісність.

4. Метеорологічні фактори – це кількість і характер атмосферних опадів, інтенсивне насичення ґрунту під час сильних опадів і танення снігового покриву, що призводить до збільшення вмісту води в ґрунті.

5. Антропогенні фактори – включають вплив діяльності людини, наприклад штучне порушення природного балансу схилів під час будівництва доріг, трубопроводів та інженерних споруд, а також збільшення навантаження на схили внаслідок будівництва чи вирубки лісів.

Одним із основних завдань моніторингу зсувів є визначення оптимальних методів спостереження, таких, які забезпечують необхідну точність вимірювань і дають можливість отримати достовірні дані про динаміку зсувів.[6]

Вирішальними параметрами в цьому відношенні є частота та просторове охоплення спостережень.

Для зсувів, які відбуваються у віддалених районах і не становлять загрози населеним пунктам чи об'єктам інфраструктури, спостереження

можуть проводитися з меншою періодичністю та з дещо зниженим ступенем точності.

На території національного природного парку «Гуцульщина» зсуви відносять до періодичних явищ.

Дослідження показали, що це пов'язано з наявністю корінних утворень і розвитком надзвичайно крутих схилів, що підвищує ризик таких небезпечних явищ, як каменепади (рис. 2).[4]

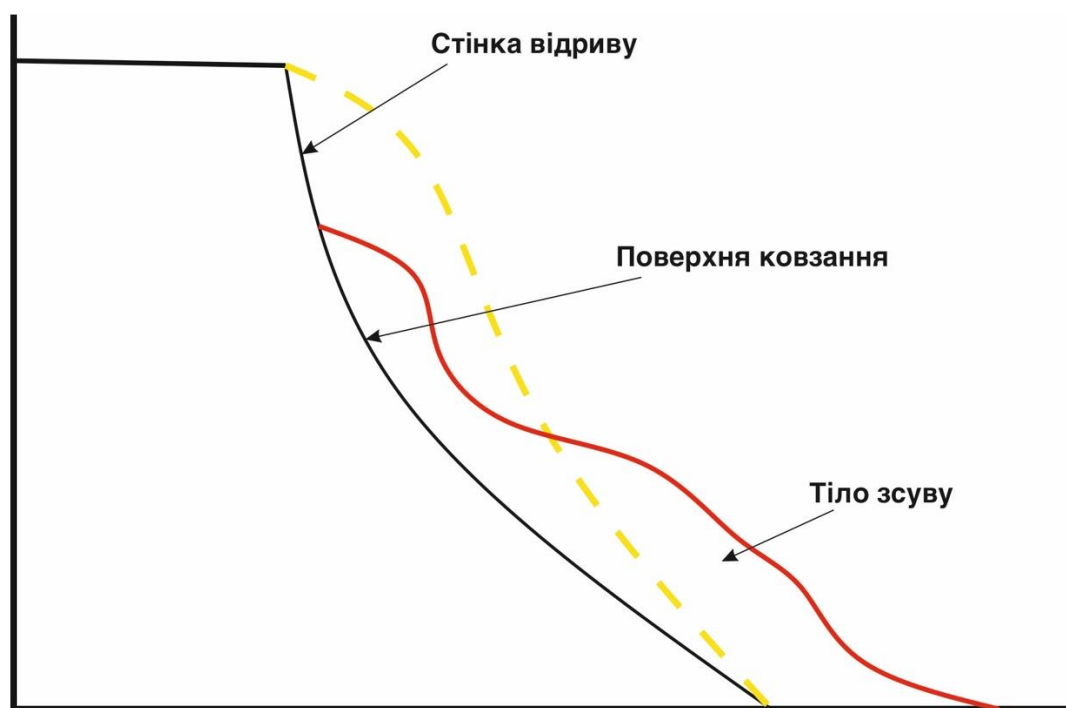


Рисунок 2. Відрив деяких гірських масивів

Обмеження використання конкретних методів вимірювання впливають як з характеристик досліджуваної території, так і з необхідної точності результатів.

Вибір інструментів і технологій в першу чергу визначається вимогами до точності вимірювань, а також умовами навколишнього середовища на місці, доступністю досліджуваного предмета та можливостями постійного моніторингу.

Визначення оптимальної точності вимірювань є ключовим етапом дослідження, оскільки зібрані дані повинні бути не тільки максимально точними, але й достатніми для аналізу динаміки процесів зсуву.

Крім того, значну роль відіграє вибір часових інтервалів між послідовними серіями вимірювань.

Цей вибір ґрунтується на розумінні причин і механізмів деформації в межах досліджуваної області.

Коли мова йде про рух поверхні ґрунту, найкращий підхід передбачає забезпечення постійного моніторингу, який дозволяє фіксувати навіть найменші зміни в структурі та рельєфі ґрунту.[5]

З огляду на це, для дослідження зсувів на території НПП «Гуцульщина» було обрано наступні методи:

- Методи GNSS – статичні супутникові вимірювання, які дають змогу з високою точністю отримувати координати контрольних точок і аналізувати зміни їхнього положення з часом.

- Лазерне сканування – детальна тривимірна модель поверхні зсуву, отримана за допомогою наземних або мобільних лазерних сканерів, що дозволяє оцінити об’ємні зміни гірських порід.

- Сканування за допомогою тахеометра – застосування скануючого тахеометра для побудови точних профілів місцевості та визначення змін у структурі схилів.

- Фотограмметричний метод – аерофотозйомка за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що забезпечує своєчасне отримання високоточних знімків місцевості та можливість побудови цифрових моделей рельєфу (рис. 3).

Поєднання різноманітних методів дозволяє досягти всебічного розуміння змін, що відбуваються на досліджуваній території, і суттєво підвищує достовірність аналітичних результатів.



Рисунок 3. Обладнання для виконання дослідження

Порівняння результатів вимірювального циклу (рис. 4) проводилося з використанням даних, отриманих зі статичних GNSS-спостережень геодезичних контрольних точок.

Ці точки гарантують як високу точність, так і стабільність отриманих даних.

Застосування методів GNSS не тільки полегшило визначення просторових переміщень в контрольних точках, але й дало змогу оцінити динамічні зміни, що відбуваються протягом періоду спостережень.

Аналіз отриманих наборів координат на різних інтервалах часу дозволив виявити тенденції деформаційних процесів, а також оцінити їх інтенсивність і спрямованість.[4]



Рисунок 4. Порівняння результатів вимірювання

Аналіз розбіжностей циклу вимірювань виявив зміщення контрольних точок від кількох сантиметрів до кількох десятків сантиметрів.

Ці варіації були безпосередньо пов'язані з інтенсивністю процесів руху ґрунту, що спостерігалися протягом конкретних періодів моніторингу.

Найбільш значні переміщення зафіксовано переважно на ділянках з крутими схилами та підвищеним рівнем водонасиченості ґрунту.

Щоб гарантувати надійність зібраних даних, стабільність контрольних точок була ретельно перевірена перед початком кожного циклу вимірювання.

Цей процес дозволив ідентифікувати будь-які потенційні позиційні зміни опорних точок, забезпечуючи таким чином точність наступних розрахунків.

Крім того, були ретельно розглянуті та враховані потенційні систематичні похибки, що виникають через використання обладнання, а також зовнішні фактори, які потенційно можуть впливати на точність визначення координат.

2. Перевірка стійкості контрольних точок

Моніторинг зсувних процесів базується на постійно встановленій мережі геодезичних опорних пунктів, міцно закріплених у ґрунті, що оточує досліджувану територію.

Головне, щоб ці точки були розташовані поза зоною активних масових рухів.

Таке стратегічне розташування гарантує їх стабільність і дозволяє використовувати їх як надійну еталонну основу для оцінки деформації.

В рамках дослідження території НПП «Гуцульщина» встановлено 5 геодезичних контрольних пунктів безпосередньо в зоні зсуву.

Їх розміщення враховує важливу вимогу взаємної видимості між суміжними точками, що є ключовим фактором для точності вимірювань.

Для подальшого підвищення точності спостережень за межами зони активного зсуву додатково встановлено чотири металеві опори, які виступають опорними контрольними точками.[4]

Таке розташування контрольних точок сприяло створенню стабільної системи відліку, що підтримує подальший аналіз просторових змін.

Під час моніторингу також враховувалися сезонні коливання, оскільки інтенсивні опади або коливання температури, включаючи цикли замерзання-відтавання в ґрунті, можуть впливати на зсуви.

Це вимагає ретельного моніторингу точок у різні пори року, з особливим акцентом на періоди підвищеної вологості або умови після танення снігу.

По суті, розроблена мережа контрольних точок дозволяє не тільки точно визначати деформації поверхні ґрунту, але й забезпечує стабільність і точність, необхідну для комплексного аналізу зсувних процесів на території НПП «Гуцульщина».

Розподіл точок мережі та їх взаємне розташування показано на малюнку 5.[4]



Рисунок 5. Розподіл точок мережі та їх взаємне розташування

Як зазначалося раніше, геодезичні опорні пункти розташовані безпосередньо в зоні впливу зсувного процесу; отже, їхня стабільність є надзвичайно важливою для точності проведених вимірювань.

Ключовою метою є перевірка постійності цих контрольних точок, які складають геодезичну мережу.

Важливо розрізняти зміни в положеннях точок, які вказують на фактичну деформацію, і зміни, які можуть виникнути внаслідок технічних помилок під час спостережень.

Щоб відокремити справжні зміщення від помилок спостережень, необхідно провести додаткові вимірювання, використовуючи незалежні методи.

Це дозволяє визначити точні похибки спостережень і, при необхідності, скоригувати координати контрольної точки.

Дослідження стабільності цих точок спирається на використання опорних станцій GNSS.

Ці станції забезпечують високу точність і полегшують надійне визначення координат.

Завдяки довгостроковому моніторингу цих станцій ми можемо отримати точні дані про переміщення точок і, якщо необхідно, відповідно скоригувати їх координати.

Опорні станції GNSS працюють, приймаючи супутникові сигнали з фіксованим інтервалом вимірювання, забезпечуючи таким чином точність і стабільність даних.

У нашому дослідженні для оцінки стабільності опорних точок використовувалася GNSS-мережа станцій SystemSolution.

Це дозволило проводити спостереження з високою точністю та стабільністю.

Вибір таких станцій був виправданий їхньою здатністю надавати надійні дані протягом тривалих періодів спостережень.[6]

Одним із найбільш часто використовуваних методів використання цих мереж є вимірювання RTK, які забезпечують високу точність у режимі реального часу.

Для оцінки стабільності контрольних точок у досліджуваній області було вибрано чотири опорні станції з цієї мережі, як показано на малюнку 6.

Такий підхід сприяв отриманню точних і стабільних результатів моніторингу.

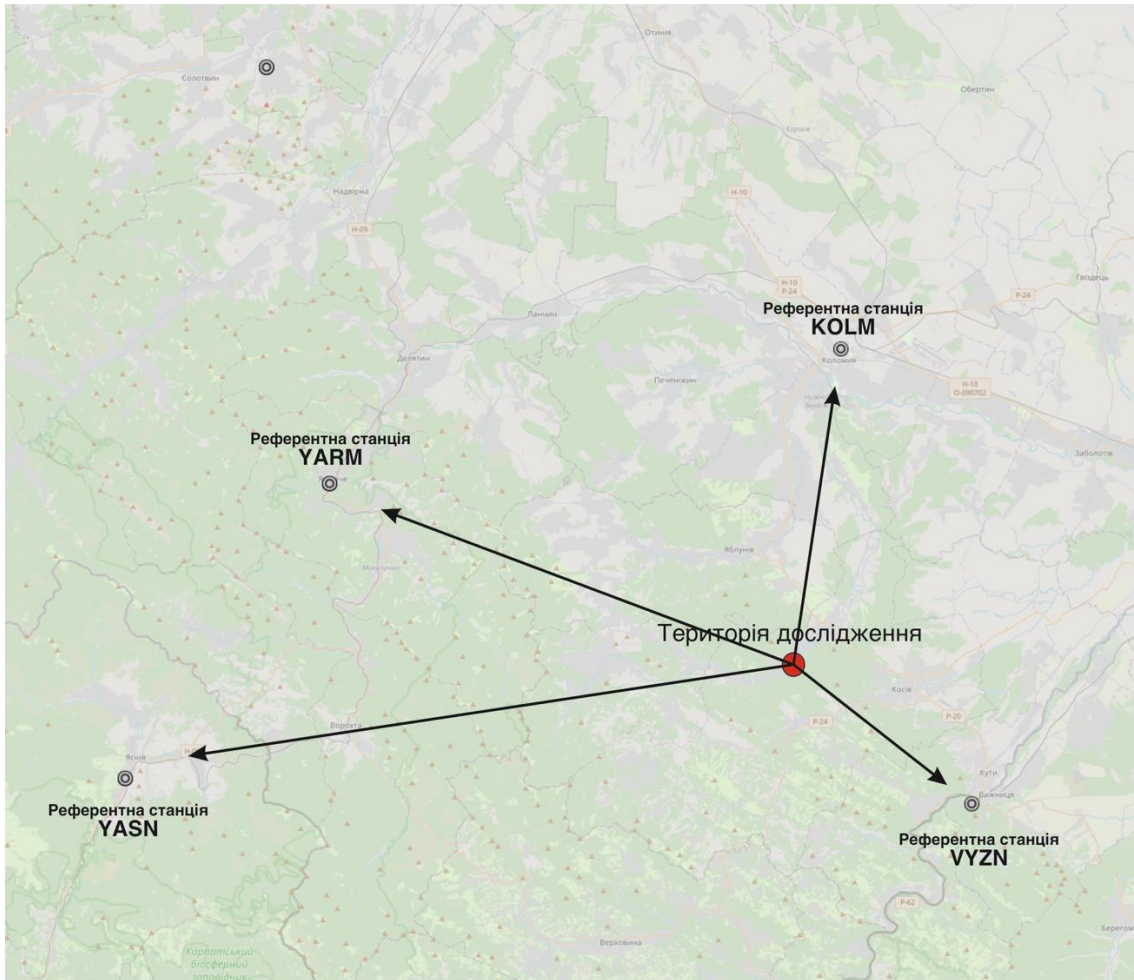


Рисунок 6. Опорні станції для визначення положення пункт №1401

Погодинні вимірювання опорних геодезичних пунктів проводились з інтервалом 1-1,5 години методом статичної GNSS.

Такий підхід забезпечив як високу точність, так і стабільність отриманих даних.

Координати точок розраховувалися відносно станцій мережі SystemSolution.

Ці станції є надійною основою для геодезичних спостережень на визначеній території.

Враховуючи важливість правильного вибору контрольної точки для отримання точних результатів, точки 1401 і 1402 (рис. 6) були обрані для поглибленого аналізу.[4]

Ці точки становлять критичні елементи в межах контрольної мережі, розташованої в зоні дослідження.

Щоб гарантувати надійність і точність результатів дослідження при використанні технології GNSS для перевірки стабільності контрольних точок, необхідно пройти кілька етапів.

Перший етап передбачає визначення похибки, пов'язаної зі встановленням координат кожної окремої контрольної точки.

Цей крок дає змогу оцінити точність початкових вимірювань і врахувати потенційні варіації, що спостерігаються під час повторних спостережень.

Другий етап включає оцінку стабільності опорних станцій, які є основою для GNSS спостережень.

Цей крок підтверджує їх здатність надавати узгоджені дані протягом тривалого часу.

Наступний етап передбачає розробку критерію точності.

Це допомагає порівнювати результати вимірювань, а також визначати їх якість.

Останній етап включає оцінку ймовірного зміщення контрольних точок через природні явища або технічні впливи.[4]

Точність вимірювань і визначення координат контрольних точок, а також будь-які зміщення їх позицій можна оцінити за допомогою кількох методологій:

1. Аналіз накопичених даних, отриманих зі звітів мережі опорних станцій. Цей метод забезпечує точні координати та дозволяє порівнювати з попередніми вимірюваннями.

2. Порівняння результатів повторних спостережень, проведених на контрольних точках.

Ця процедура дозволяє визначити зміни в їх координатах і виявити потенційні деформації.

3. Спостереження за змінами положення точок протягом тривалого часу.

Це дозволяє точно оцінити будь-які зміщення точок і потенційну деформацію, викликану зовнішніми факторами.

Для встановлення середніх похибок координат контрольних точок проводились вимірювання статичним методом GNSS у поєднанні з високоточними приймачами Leica.

Ці вимірювання дали детальну інформацію про точність, з якою були визначені координати точки.

Вони також сприяли ідентифікації потенційних варіацій і зміщень в межах своїх позицій протягом повного періоду спостереження.

Таблиця 1 надає детальну інформацію щодо похибок, які виникли під час вимірювань.

Ці дані підтримують чітке розуміння точності координат контрольної точки та полегшують коригування результатів у разі виявлення значних відхилень.

Таблиця 1. Зведення значень помилок за окремі роки

Роки спостереження	Значення похибки			
	m_x	m_y	m_p	m_H
2019	4	11	12	18
2020	9	3	11	17
2021	2	7	9	19
2022	3	9	10	21
Середнє значення	4.5	7.5	10.5	18.8

3. Аналіз зсувів позицій опорних станцій як контрольних точок

Процес ідентифікації зсувів на опорних станціях у мережі SystemSolution, які слугували базовими точками для контрольних точок, залежав від даних, наданих

Центром дослідження мережі GNSS SystemSolution.

Цей центр відповідає за постійний моніторинг станцій GNSS, сприяючи отриманню актуальної інформації про координати.

Щодня, близько 18:00, визначаються поточні координати опорних станцій, виражені в рамках Міжнародної наземної системи відліку 2014 (ITRF2014).[4]

Згодом дані про координати трансформуються в Українську систему координат 2000 (УСК2000).

Цей крок забезпечує сумісність з іншими геодезичними системами та дозволяє оцінювати точність позиціонування в локальних умовах.

Порівняння поточних координат з попередньо записаними даними включає послуги в реальному часі.

Цей механізм дозволяє виявити потенційні зсуви або деформації в положеннях опорної станції, дозволяючи оцінити їх стабільність у часі.

Цей процес безперервного моніторингу положень опорних точок підтримує ідентифікацію можливих рухів або деформацій ґрунту в зоні геодезичних досліджень.

Таким чином, надана точність має вирішальне значення для подальших дослідницьких спроб.

3.2 Стабільність станції

Дані за період з 2019 по 2022 роки були зібрані для перевірки стабільності використовуваних опорних станцій.

Стабільність кожної станції оцінювалася шляхом перехресного порівняння поточних координат, отриманих за допомогою системи ITRS, із даними, отриманими від служб реального часу, пов'язаних із такими опорними станціями:[4]

- **VYZN** – станція, розташована в селі Вижниця,
- **YASN** – станція в селі Ясеня,
- **YARM** – станція в місті Яремча,
- **KOLM** – станція в місті Коломия.

Цей порівняльний аналіз показав, що координати опорних станцій, отримані з опорних мереж, значною мірою узгоджуються, демонструючи їхню стабільність протягом усього періоду вимірювання.

Аналіз таких стабільних даних дозволяє гарантувати високу точність геодезичних досліджень.

Ця точність є надзвичайно важливою для моніторингу зсувів та інших поверхневих деформацій.

Міцність і надійність цих станцій є критичним елементом для майбутніх геодезичних вимірювань, а також для оцінки просторових змін, пов'язаних із зсувними процесами на досліджуваній території.[4]

Станція VYZN

Звіт за період 1.01.2019 по 31.12.2022

Горизонтальна стійкість 1.0 мм

Вертикальна стійкість 2.4 мм

Кількість рішень 294

Середні координати

ITR2014

УСК2000

3801323.454м

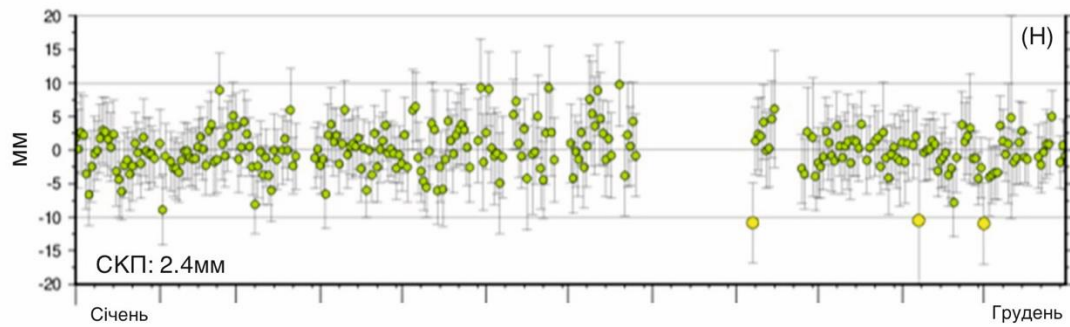
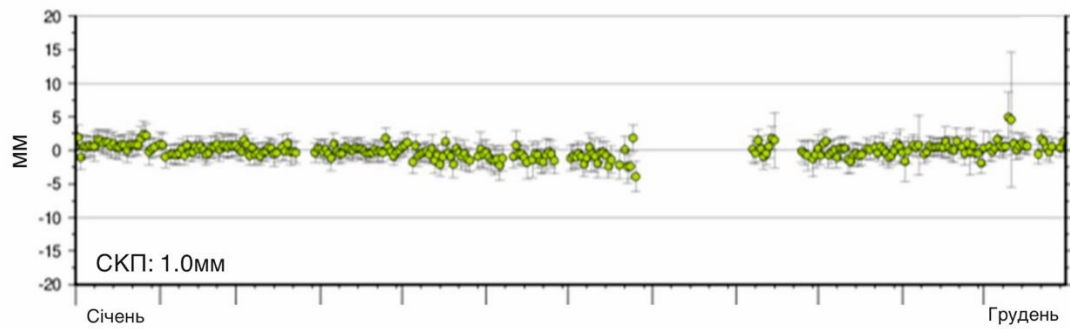
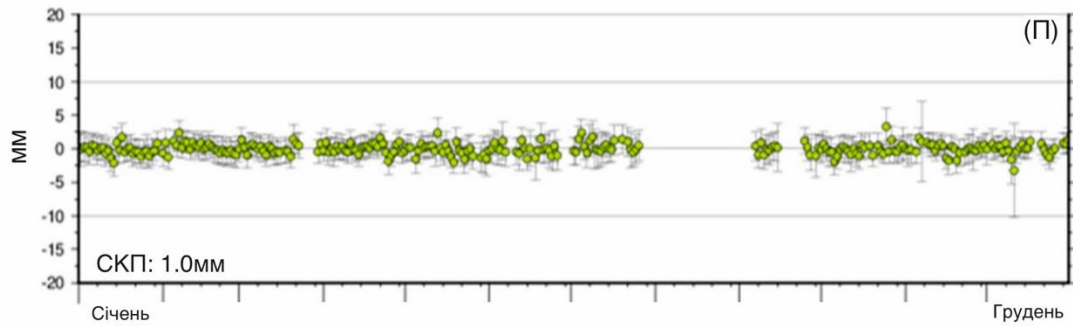
3801324.123м

1305576.876м

1305576.421м

4807033.234м

4807032.891м



Станція YASN

Звіт за період 1.01.2019 по 31.12.2022

Горизонтальна стійкість 1.1 мм

Вертикальна стійкість 3.4 мм

Кількість рішень 304

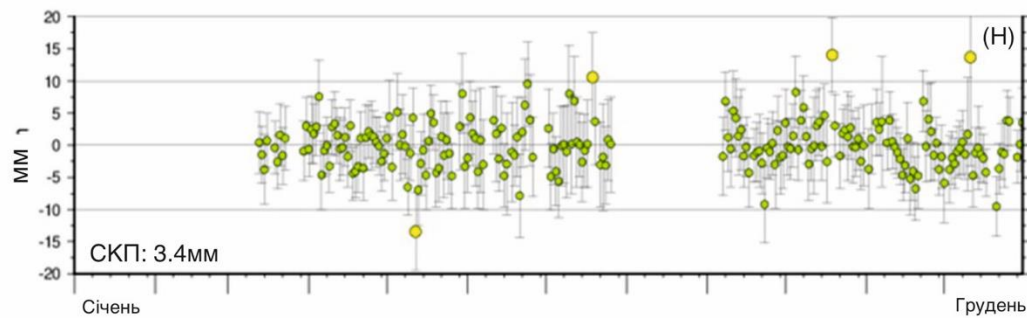
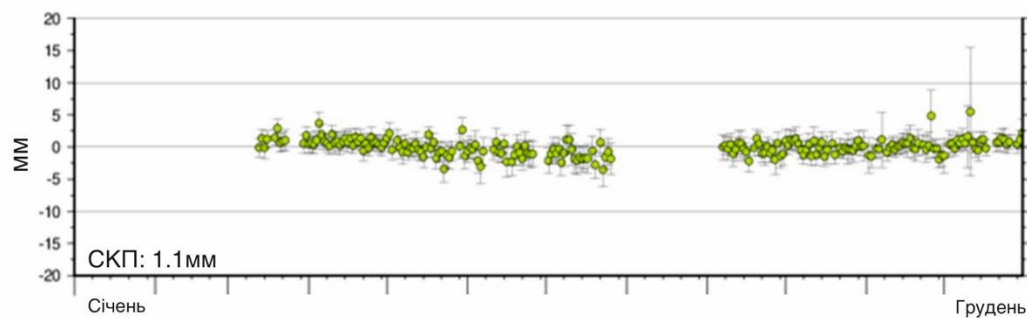
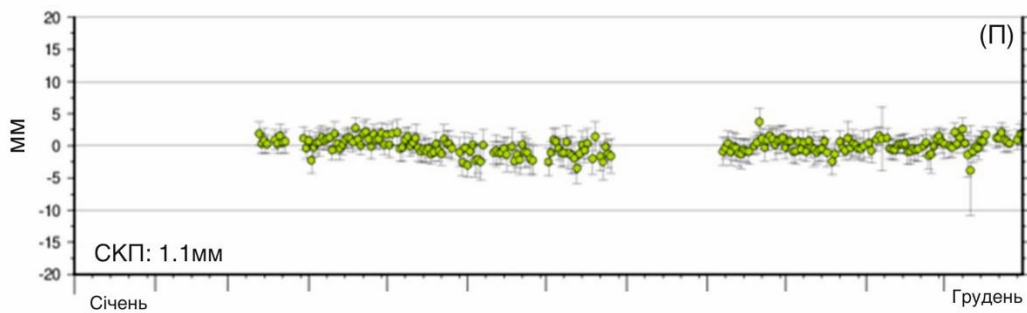
Середні координати

ITR2014 **УСК2000**

3702423.154м 370243.631м

1411456.841м 1411456.411м

4926789.334м 4926789.081м



Станція YARM

Звіт за період 1.01.2019 по 31.12.2022

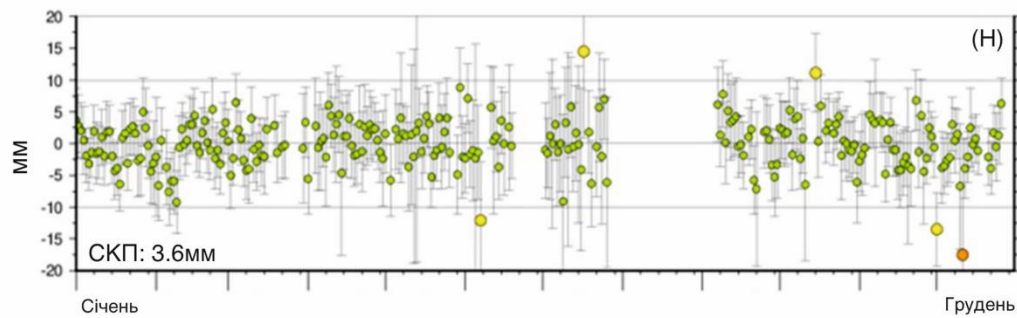
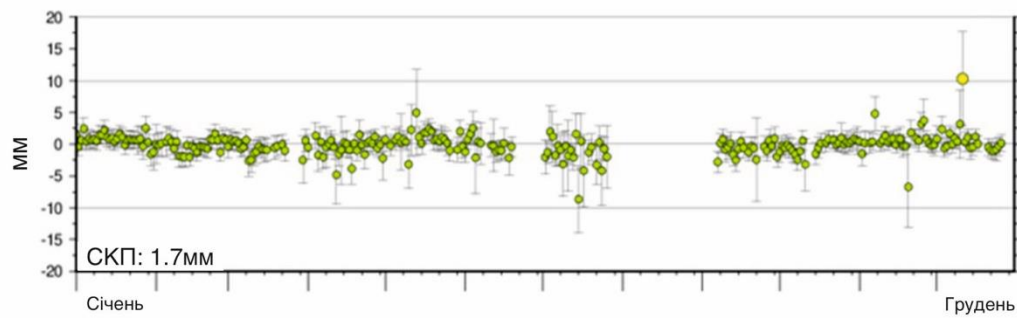
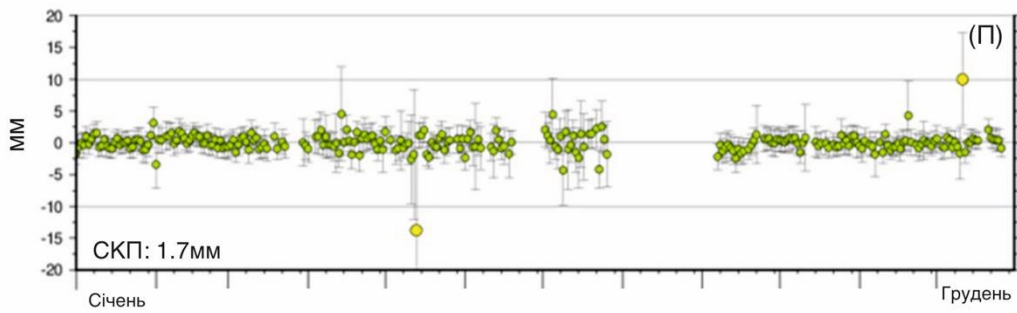
Горизонтальна стійкість 1.7 мм

Вертикальна стійкість 3.6 мм

Кількість рішень 275

Середні координати

ITR2014	УСК2000
3752756.876м	3752757.503м
1421470.321м	1421470.117м
4931809.765м	4931809.354м



Станція KOLM

Звіт за період 1.01.2019 по 31.12.2022

Горизонтальна стійкість 1.1 мм

Вертикальна стійкість 3.6 мм

Кількість рішень 295

Середні координати

ITR2014	УСК2000
3771765.576м	3771766.519м
1459732.627м	1459732.379м
4904986.752м	4904986.418м

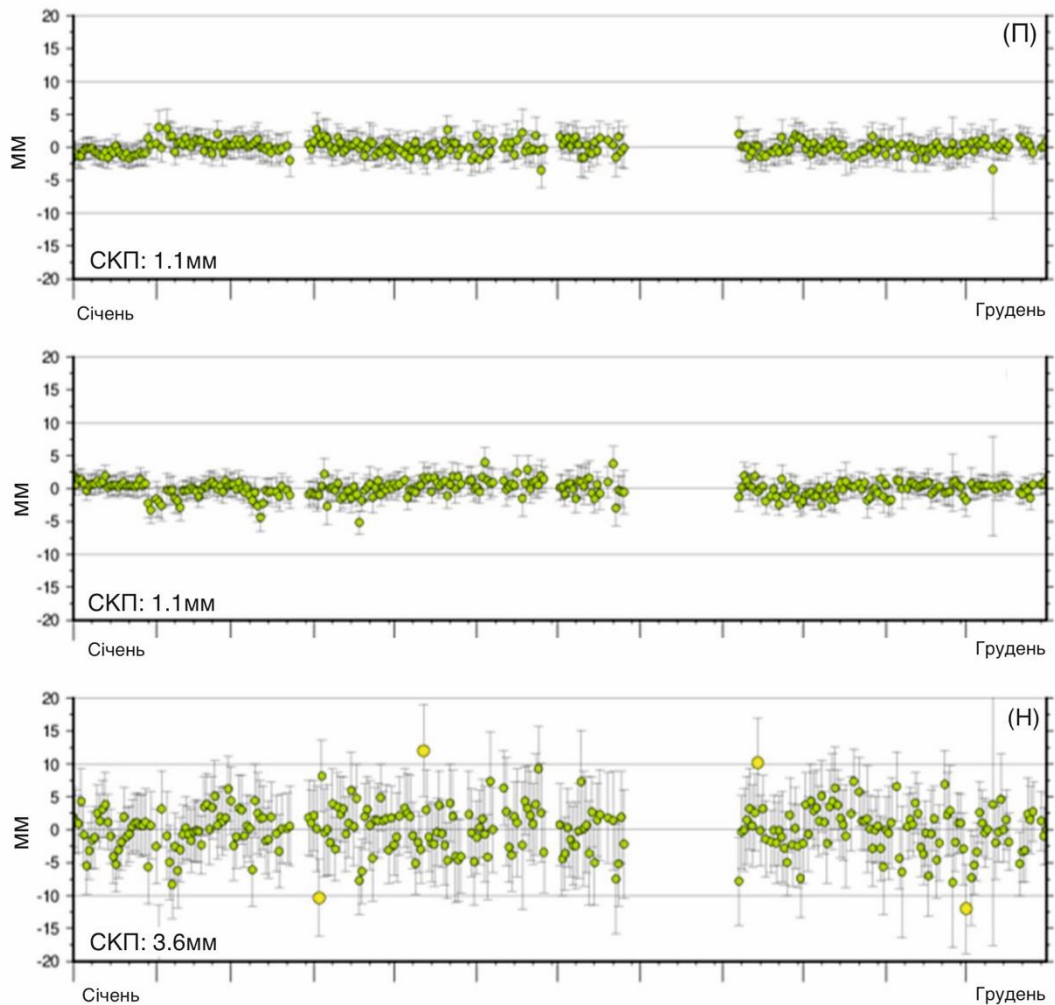


Рисунок 7. Стабільність опорних станцій

Протягом серпня спостерігалися суттєві зміни в усіх трьох координатах, що свідчить про можливі збої або оновлення в системі мережі станцій.

Ці зміни можуть бути пов'язані з технічними елементами, включаючи коригування налаштувань або параметрів мережі, які безпосередньо впливають на точність координат.

Такі випадки підкреслюють необхідність аналізу результатів вимірювань протягом тривалого часу, що дозволяє точно оцінити деформацію ґрунту та відстежувати довгострокові тенденції.

Аналіз даних показав, що всі чотири станції демонструють більшу нестабільність між координатами X і Y порівняно з координатою Z.

Цей висновок означає, що коливання горизонтальних координат (X і Y) мають більш виражений вплив на точність вимірювань, ніж зміни вертикальної координати (Z).[4]

Ця закономірність вказує на те, що моніторинг змін у горизонтальних площинах вимагає посиленого контролю та точності, оскільки вони, ймовірно, будуть більш сприйнятливими до зовнішніх впливів, включаючи технічні несправності на станціях або специфічні географічні характеристики території.

Враховуючи ці спостереження, постійний моніторинг і врахування цих нестабільностей є важливими для забезпечення високої точності наступних вимірювань і повинні бути інтегровані у виконання геодезичних досліджень (див. Таблиці 2 і 3).

Таблиця 2. Підсумок горизонтальної стабільності станцій SystemSolution

Референтні станції	Роки				Середнє значення
	2019	2020	2021	2022	
VYZN	0.9	1.1	1.6	1.5	1.28
YASN	1.1	1.3	1.5	1.4	1.33
YARM	1.9	1.1	1.7	1.2	1.48
KOLM	1	1.1	1.3	1.2	1.15
Середнє значення	1.23	1.15	1.55	1.33	1.31

Таблиця 3. Підсумок вертикальної стабільності станцій SystemSolution

Референтні станції	Роки				Середнє значення
	2019	2020	2021	2022	
VYZN	2.9	3.7	3.3	3.7	3.4
YASN	2.6	3.6	3.4	3.4	3.25
YARM	3.0	3.4	3.8	4.0	3.55
KOLM	2.7	3.5	3.7	3.2	3.28
Середнє значення	2.80	3.55	3.55	3.58	3.37

3.2 Аналіз швидкості руху, що спостерігаються на опорних станціях

Підвищена точність технології GNSS дозволяє її все більше застосовувати для моніторингу тектонічних рухів і деформацій у вибраних областях.

З точністю, що досягає 1-3 мм на станцію на день, можна детально відстежувати зміни в позиціях станції з часом.

Це дозволяє визначити середні швидкості руху станції, які є основними для вивчення швидкості деформації.

Коли дві станції демонструють дуже повільну конвергенцію, це може вказувати на наявність деформацій, які потребують подальшого дослідження.

Аналізуючи ці часові варіації, можна визначити природу швидкості деформації, що є вирішальним для розуміння геодинамічних процесів у вибраних регіонах.

Для точного тривимірного визначення швидкості руху станції необхідний досить довгий часовий ряд координат.

В ідеалі ця серія повинна охоплювати кілька років, щоб зібрати надійні дані для оцінки швидкості.[4]

Для більш коротких інтервалів часу, таких як один рік або шість місяців, результати повинні бути ретельно оцінені, щоб визначити точність швидкості та надійність отриманих даних.

Невизначеність у змінах координат станції, особливо протягом коротких проміжків часу, може бути настільки значною, що однозначна інтерпретація як деформація чи тектонічний рух стає неможливою.

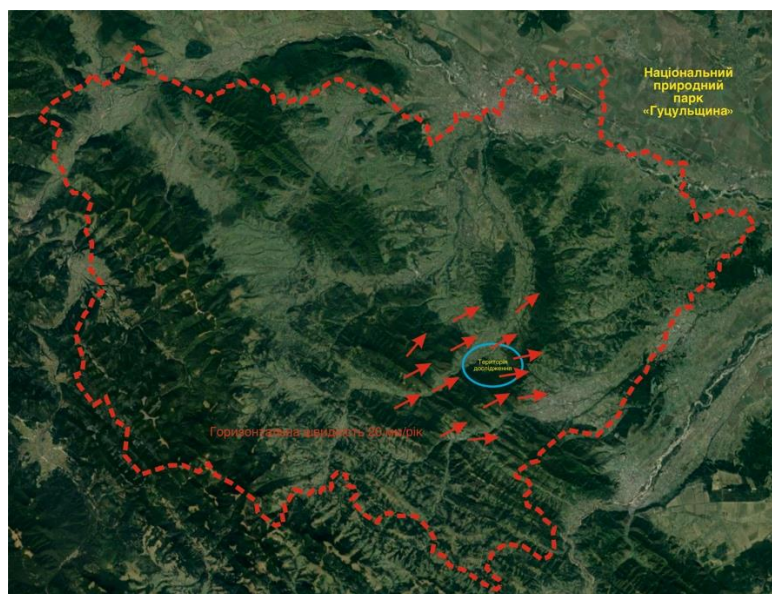
Тому, щоб зробити правильні висновки, необхідно враховувати всі фактори, що впливають на точність вимірювання.

Оскільки спостереження GNSS є надійним джерелом інформації, аналіз координат на основі довгих часових рядів є ключовим кроком для отримання точних і надійних швидкостей деформації.

Для цього використовувалися станції з не менше трьох років спостережень.

Результати аналізу швидкостей зміни координат станції представлені на картах, зображених на рисунку 8.[4]

Ці карти ілюструють характер і масштаби деформацій, допомагаючи вченим та інженерам робити прогнози щодо еволюції деформаційних процесів у майбутньому.



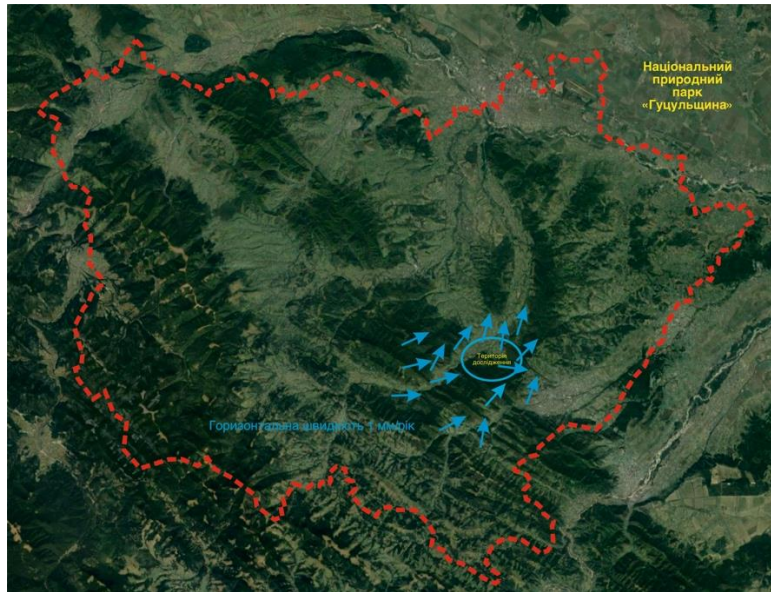


Рисунок 8. Горизонтальні та вертикальні рухи ділянки дослідження

Дві діаграми, представлені на малюнку 8, дають уявлення про горизонтальні та вертикальні швидкості в системі координат УСК2000, сприяючи повному розумінню рухів у досліджуваній області.

Перша діаграма (рис. 8) зображує однорідний рух по всій території в північно-східному напрямку в межах системи УСК000.

Цей послідовний рух свідчить про широкомасштабне зміщення земних мас, потенційно вказуючи на значні процеси деформації.

Вони можуть виникати внаслідок природних явищ або діяльності людини.

Другий графік (рис. 8) ілюструє вертикальні переміщення в межах досліджуваної зони.[4],[6]

Він підкреслює зміщення точок, спрямованих на північ, що дозволяє оцінити потенційні вертикальні зміни, як-от опускання або підняття землі.

Ці дані мають вирішальне значення для оцінки впливу на поверхневі структури разом із дослідженням взаємодії між геологічними процесами.

Отже, аналіз середніх рухів у досліджуваній зоні (рис. 9) дозволяє визначити загальну схему поточних змін, надаючи важливу інформацію для формулювання рекомендацій щодо майбутньої стабільності та безпеки території.

Використання таких даних дає змогу передбачити напрямки та величини деформацій, сприяти запобіжним заходам для їх моніторингу та пом'якшення їхнього впливу на інфраструктуру.[4]

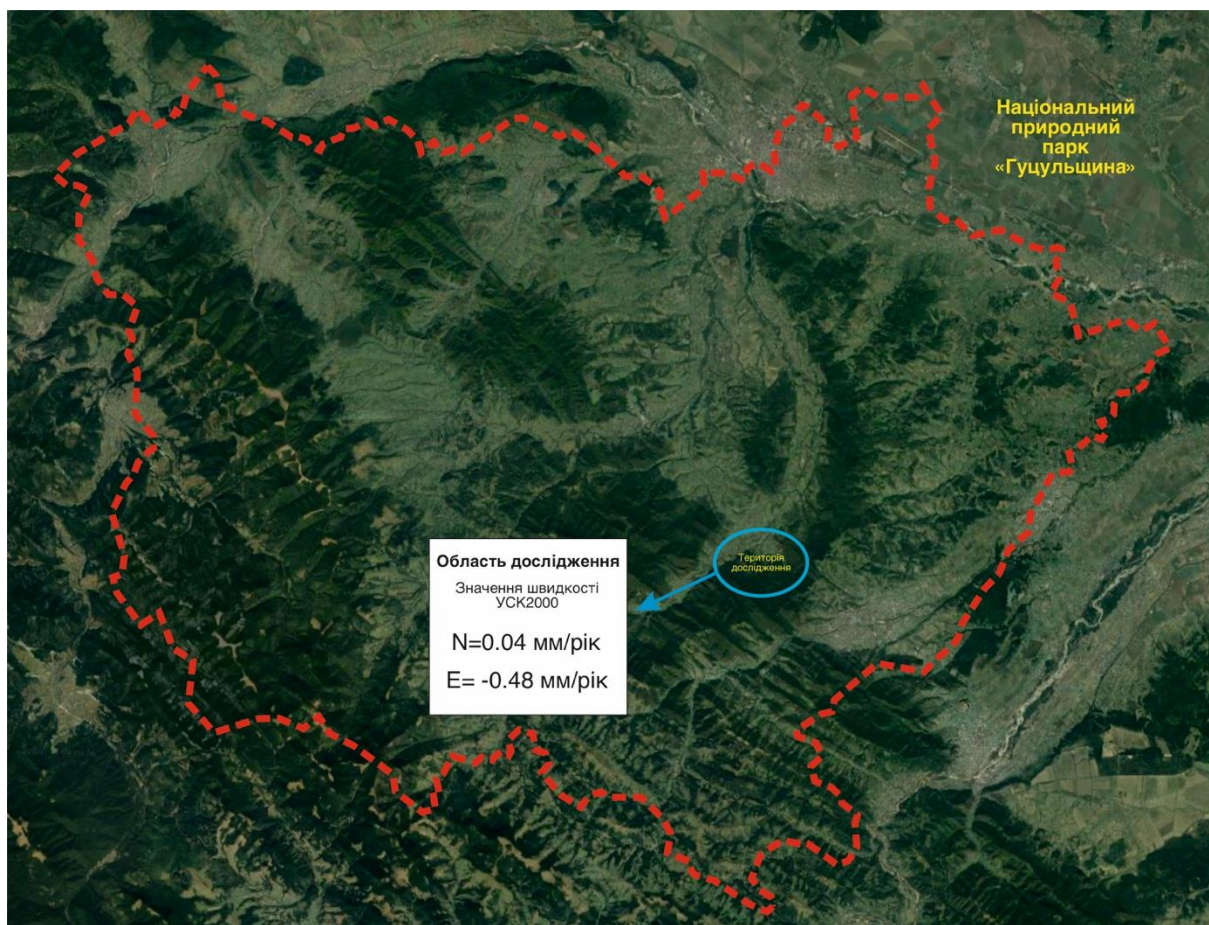


Рисунок 9. Горизонтальні швидкості в області дослідження

Застосування методів фільтрації разом із видаленням локалізованих високошвидкісних аномалій призводить до більш чіткого відображення швидкостей, зокрема з урахуванням тектонічних характеристик, притаманних досліджуваній території.

Цей підхід полегшує включення різноманітних геологічних процесів, одночасно пом'якшуючи наслідки тимчасових або менш значних флуктуацій.

На основі модельних даних для досліджуваної території (рисунок 9) визначено горизонтальні швидкості в системі УСК2000: 0,4 мм/рік на півночі та -0,48 мм/рік на сході.

Ці цифри свідчать про наявність повільних, але безперервних рухів у регіоні, що відбуваються в обох напрямках, що можна віднести до тектонічної активності або природних деформацій.

Оцінки швидкості були отримані від станцій, які мали мінімальний період спостереження в два роки протягом визначеного періоду часу.

Важливо відзначити, що точність і значимість результатів суттєво зростає з часом.[4]

Зокрема, найбільш значущі вимірювання швидкості спостерігаються після 5 років спостережень, а при тривалому моніторингу, наприклад 10-річному періоді, швидкості можуть досягати до 10 мм/рік.

Ці вимірювання швидкості мають вирішальне значення для точного визначення координат контрольної точки, особливо в сценаріях, що включають моніторинг зсувів і відстеження довгострокових зсувів ґрунту в регіоні.

Комплексний аналіз таких даних важливий не тільки для встановлення поточної стабільності території, але й для прогнозування можливих майбутніх змін.

Ця інформація є важливою для планування заходів, спрямованих на забезпечення безпеки та постійної стабільності інфраструктури в цих зонах.

3.3 Критерії відповідності зміни положення опорних станцій контрольним точкам

Розміщення більшості базових станцій на відкритих територіях є свідомою стратегією.

Ця конфігурація призначена для максимізації прямої видимості супутників, тим самим зводячи до мінімуму шкідливий вплив перешкод на точність вимірювань.

Однак саме ця перевага одночасно робить станції сприйнятливими до коливань, що походять від землі, на якій вони встановлені.

Рух ґрунту, як впливовий фактор, може виникати з багатьох джерел, включаючи локальні зміщення в осадових шарах, а також більш значні деформації фундаментальної структури земної кори.

Ці зміщення, як наслідок, потенційно можуть поставити під загрозу точність позиціонування станцій і, як наслідок, підірвати надійність опорних точок, які використовуються для моніторингу деформації ґрунту.

Точна інтерпретація даних вимірювань GPS вимагає розгляду таких потенційних деформацій.[4],[6]

Для забезпечення точності необхідно використовувати надійні методи їх ідентифікації.

У рамках цього дослідження ми провели порівняльний аналіз, оцінивши координати, отримані з наших опорних станцій — це ключові елементи для наших контрольних точок — у порівнянні з координатами, доступними через служби реального часу.

Завдяки цьому порівняльному процесу стало можливим оцінити як точність, так і стабільність отриманих даних, а також оцінити вплив природних і антропогенних впливів (див. Малюнок 10).[4]

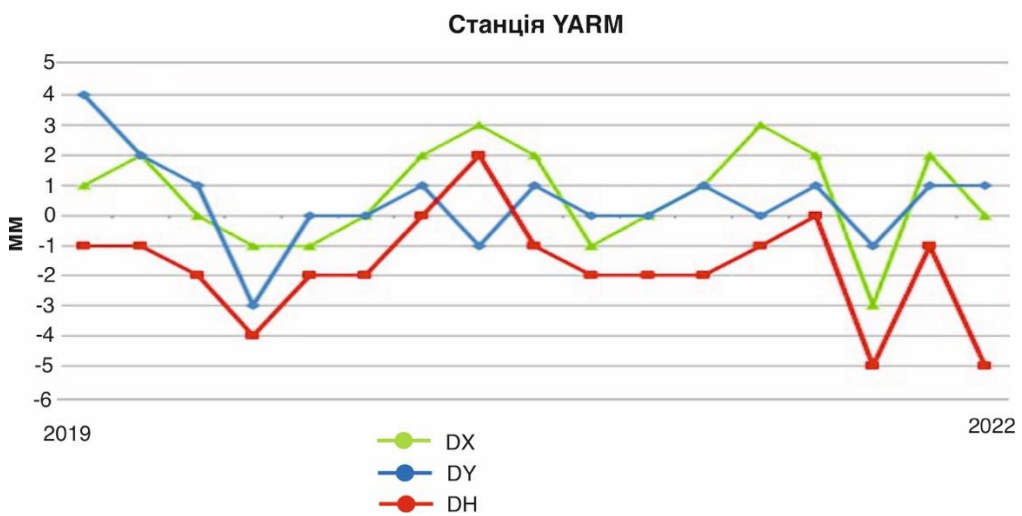
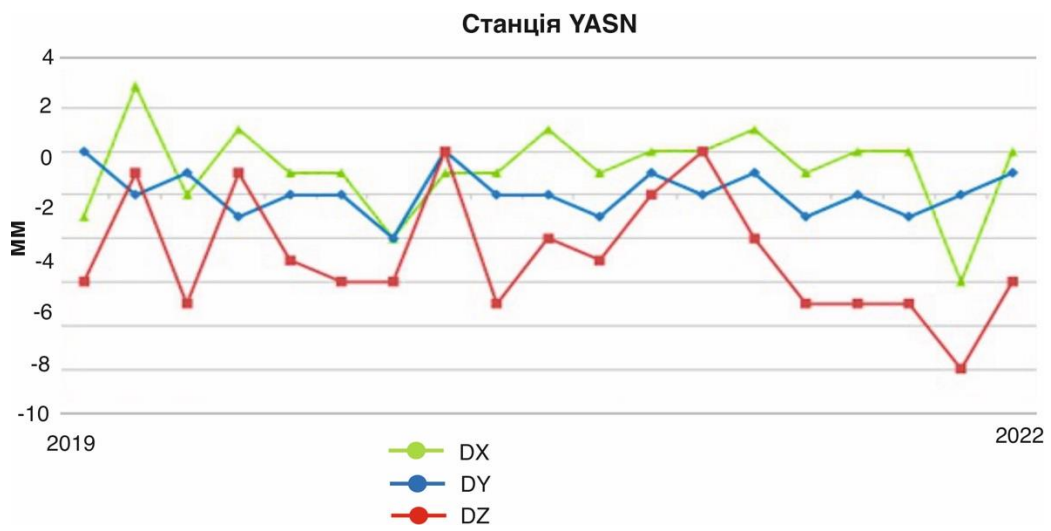
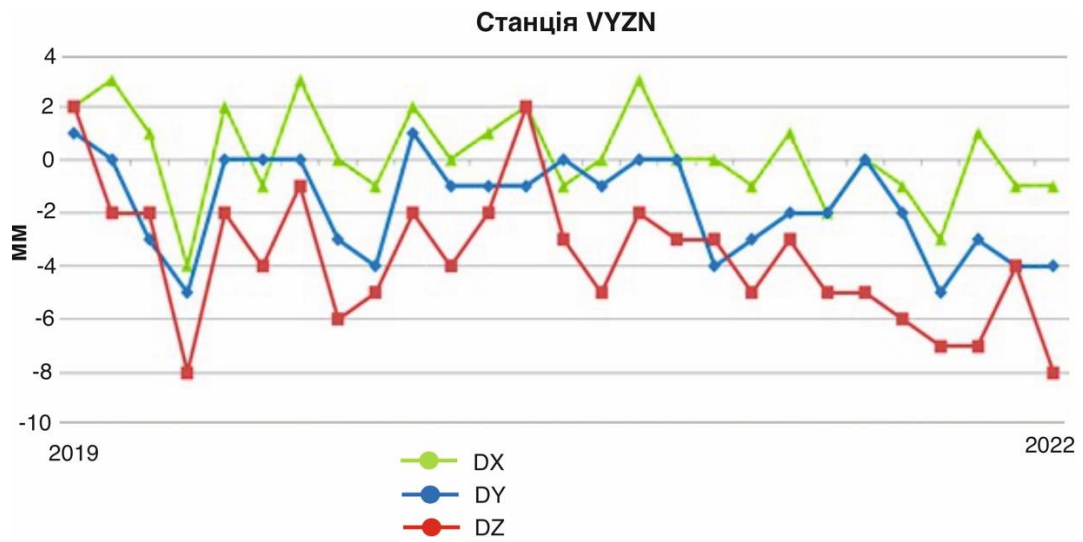


Рисунок 10. Порівняння на референтних станціях

Порівняння координат є важливою технікою, яка служить не тільки для точного визначення аномалій і зміщень, але й для забезпечення точних вимірювань деформації в результаті різноманітних природних і антропогенних процесів.

Цей тип аналізу сприяє ранньому виявленню потенційних ризиків, пов'язаних зі змінами в положенні геодезичних контрольних точок, тим самим сприяючи надійності та ефективності зусиль моніторингу.

Надані графіки, що ілюструють порівняння координат з 2019 по 2022 рік, виявляють значні зрушення в позиціях станцій, пов'язані з технічними несправностями.[4]

Ці зсуви особливо помітні в координатах висоти, які були помилково опубліковані в мережевих службах для певних опорних станцій.

Такі помилки можуть суттєво погіршити загальні результати вимірювань, особливо коли залучаються точні геодезичні спостереження.

Аналіз показав, що координати висоти однієї конкретної опорної станції були неправильно розраховані через технічний збій, який стався у 2021 році.

Це призвело до заниження висоти на 4 см за період з 2019 по 2022 рік.

Після вирішення технічного питання координати були виправлені, що дозволило більш точно визначити висоту станції.

У зведеній таблиці (табл. 4), що деталізує період з 2019 по 2022 рр., виділено середнє відхилення координат 8 мм.

Це підкреслює важливість регулярних перевірок і коригувань, оскільки навіть незначні неточності можуть істотно вплинути на точність геодезичних вимірювань і, як наслідок, на результати моніторингу деформацій.[4]

Таблиця 4. Зведення середніх відхилень координат станції (2019-2022 рр.)

Референтні станції	2D(мм)	Dh(мм)
VYZN	7.9	5.7
YASN	2.1	3.3
YARM	3.2	-
KOLM	2.8	7.0
Середнє значення	4	4

Спостережувані відхилення є значно меншими, ніж помилки, наведені в таблиці 1.

Отже, ці відхилення суттєво не вплинуть на контрольні точки.

Тим не менш, інтерпретація результатів спостережень за деформаціями представляє серйозну проблему: визначити, які зміни у вимірюваннях відображають фактичні деформації поверхні ґрунту, а не ті, що виникають через помилки вимірювань.

Як зазначалося раніше, основний підхід до вирішення цієї проблеми передбачає встановлення помилок спостереження за допомогою незалежних вимірювань у поєднанні з дослідженнями, що оцінюють стабільність контрольних точок.

Це полегшує оцінку того, чи потрібні коригування координат контрольної точки.

Крім того, дуже важливо визначити критерії, щоб визначити, коли зрушення координат є значними, а не просто артефактами неточності вимірювання.[4]

Загальний критерій встановлює граничну похибку, яка зазвичай у 2-3 рази перевищує середню похибку спостереження.

Це допомагає відрізнити зміни, викликані справжніми деформаціями, від тих, які потенційно спричинені технічними чи методологічними помилками в процесі вимірювання.

Коли зміна координат перевищує цей поріг, це можна розглядати як потенційну деформацію, що вимагає подальшого аналізу та, потенційно, корекції даних.

Підсумовуючи, для точного моніторингу та аналізу деформації точне визначення похибок вимірювань є лише одним із компонентів.

Не менш важливим є впровадження чітких критеріїв оцінки суттєвих змін.

Такий підхід дозволяє отримувати більш достовірні висновки та забезпечує ефективний контроль за геодезичними пунктами в межах досліджуваної території.

$$g = (2 \div 3) m_{\text{mean}}$$

Прийняття початкового коефіцієнта передбачає ймовірність помилки нижче 95% похибки, тоді як наступне значення гарантує ймовірність помилки лише 0,1%. [4]

Це дає змогу точніше оцінювати, коли зрушення в позиціях точок є дійсними, а не статистичними артефактами.

У таблиці 1 представлені середні значення позиційної похибки за окремими роками для визначення точок перегину.

Ці значення лежали в основі розрахунку граничних похибок, які використовуються для оцінки точності результатів вимірювань.

Подальші деталі наведені в таблицях 5 і 6, де вказані величини похибок для кожного з досліджуваних періодів.

Визначення цих граничних похибок полегшує чітке розмежування між достовірними змінами та неточностями вимірювань, підтримуючи точну інтерпретацію результатів моніторингу.

Таблиця 5. Граничні похибки визначення положення станції (2019-2022)

Референтні станції	2D(мм)	Dh(мм)
VYZN	2.6	3.7
YASN	2.2	2.8
YARM	1.9	1.7
KOLM	4.5	-
Середнє значення	3	3

Таблиця 6. Граничні похибки визначення положення контрольної точки

Роки	Величина похибки	
	2D	m _H
2019	43	59
2020	35	49
2021	8	51
2022	29	62
Середнє значення	29	55

Прийняття початкового коефіцієнта передбачає ймовірність помилки нижче 95% похибки, тоді як наступне значення гарантує ймовірність помилки лише 0,1%.

Це дає змогу точніше оцінювати, коли зрушення в позиціях точок є дійсними, а не статистичними артефактами.

У таблиці 1 представлені середні значення позиційної похибки за окремими роками для визначення точок перегину.

Ці значення лежали в основі розрахунку граничних похибок, які використовуються для оцінки точності результатів вимірювань.

Подальші деталі наведені в таблицях 5 і 6, де вказані величини похибок для кожного з досліджуваних періодів.[4]

Визначення цих граничних похибок полегшує чітке розмежування між достовірними змінами та неточностями вимірювань, підтримуючи точну інтерпретацію результатів моніторингу.

Висновок

Як було встановлено під час дослідження в цій бакалаврській роботі, пороги значущості для величини деформації були визначені за наступними результатами спостережень:

а) Зміщення координат площини внаслідок розташування точки:

- Для статичних вимірювань координат x , y : 29 мм.
- Для статичних вимірювань висоти: 55 мм.

б) Зміщення координат через позиціонування станції:

- Для вимірювань x , y : 8 мм.
- Для вимірювання висоти: 8 мм.

Було продемонстровано, що стійкість використовуваних станцій мінімально впливає на визначені положення контрольних точок.

Похибки станцій значно менші, ніж похибки визначення координат контрольних точок, що підкреслює їх надійність для використання в геодезичних дослідженнях.

Можна також помітити, що національні мережі опорних станцій GNSS можуть бути використані для створення системи відліку стабільності для цілих регіонів.

Це полегшує точні геодезичні та геодинамічні вимірювання, пропонуючи високий ступінь точності.

Використання станцій як контрольних точок для перевірки стабільності контрольних точок вимагає об'єднання кількох станцій для підвищення надійності отриманих результатів.

Порівняльні графіки, що відображають координати в системі УСК2000 і координати, що надаються послугами в реальному часі з 2019 по 2022 рік, виявили значні позиційні зсуви станцій.

Ці зрушення пояснювали технічними несправностями, які, в свою чергу, вплинули на зміну координат станції.

Використання опорних станцій дозволило визначити швидкості в межах досліджуваної території: 0,6 мм/рік на північ і -0,53 мм/рік на схід.

Ці дані про швидкість мають вирішальне значення для прогнозування зміщення координат у реальному часі протягом тривалого періоду часу.

Фактор перешкод, що впливає на сигнали GNSS, особливо в умовах військового конфлікту, має подібне значення, оскільки він може значно вплинути на точність визначення координат контрольної точки.

У таких сценаріях доцільно поєднати сучасну технологію зі звичайними методами вимірювання, такими як нівелювання або лінійно-кутові вимірювання, щоб можна було досягти більшої точності та надійніших результатів дослідження.

Список використаних джерел

1. Бакалаврська робота. Методичні вказівки. За ред. проф. Полянської А. С., доц. Станьковської І.М., доц. Вербовської Л. С. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. 42 с.

2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. Стандарт України. Вид. офіц. [Уведено вперше ; чинний від 2016-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.

3. Лазарева О. В. Вимоги до виконання кваліфікаційних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» : методичні вказівки / О. В. Лазарева, С. М. Смирнова. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 28 с. (Методична серія ; вип. 383).

4. Krawczyk, Karol. (2023). Influence of reference stations on the stability of the geodetic control network during deformation determination in the area of Kadzielnia in Kielce. Reports on Geodesy and Geoinformatics. 115. 19-26. 10.2478/rgg-2023-0003.

5. Ядав, Р. К., Гахалаут, В., Гаутам, П. К., Джаянгондаперумал, Р., Сріджіт, К., Сінгх, І., Кумар, А., Джоевівек, В., Агравал, Р., Кетрін, Дж. К. та ін. (2020). Геодезичний моніторинг руху зсувів на двох ділянках у Гімалаях Гарвал. Гімалайская геологія, 41(1):21–30.

6. Савчук, С. та Тадеєв, О. (2020). Метод моніторингу сучасних систем відліку у їхньому зв'язку з геодинамікою. У книзі Чвіклак, Дж., редактора, Вибрані аспекти безпеки аеронавігації. LAW Publishing, Деблін.

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи:

« Використання референтних GNSS станцій та геодезичної опорної мережі при моніторингу деформацій ».

Обсяг пояснювальної записки: _____ аркуша.

_____ рік
(дата)

(підпис студента)

